

ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ ОДИНОЧНОЙ ПОРЫ В РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

SINGLE PORE DEFORMATION IN VARIOUS PROCESSES OF PROCESSING OF METALS BY PRESSURE

Логинов Ю.Н., Еремеева К.В.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, unl@mtf.ustu.ru

In the presented work the reasons of presence and evolution of defects of porosity in metal environments are analyzed. Including the behavior of a single pore in processes forging, rollings, extruding and drawing is considered.

В представленной работе проанализированы причины присутствия и эволюции дефектов сплошности в металлических средах. В том числе рассмотрено поведение одиночных пор в процессах открытой и закрытой осадки, прокатки, прессования и волочения.

Установлено, что изменение формы и размера полости, расположенной в объеме металла, зависит от схемы напряженно-деформированного состояния. В зависимости от этого наблюдается одноосное или двухосное укорочение полости. Методами теории пластичности механики деформируемой среды с помощью построения кинематически возможных полей скоростей и последующих преобразований описано изменение формы полости при деформации заготовки в закрытом объеме. Показано, что на характер формоизменения полости влияют такие параметры как относительная ширина полости и отношение сторон полости и заготовки.

Теоретически определены энергосиловые параметры закрытия полости. Выявлено, что на них оказывают влияние отношение высот полости и заготовки, отношение ширины полости и заготовки, соотношение сторон заготовки. Выполнено экспериментальное исследование деформации заготовки с полостью в закрытом объеме и показана сходимость результатов с теоретическим решением.

Показано, что энергосиловые параметры деформации материалов с одиночной полостью и двумя рядом расположенными полостями оказываются различными при одинаковой объемной пористости деформируемых заготовок и зависят от схемы взаимного расположения полостей.

Исследован методом компьютерного моделирования механизм формоизменения полости в некоторых случаях процесса прокатки. Определено, что темп деформации полости оказывается выше темпа деформации заготовки. Установлено, что при прокатке коэффициент трения между заготовкой и инструментом оказывает незначительное влияние на формоизменение полости. Выполнены экспериментальные исследования по прокатке заготовке с полостями, показавшие соответствие компьютерной модели. Выполнено исследование процесса многопроходной прокатки, в котором показано, что более интенсивно формоизменение

полости происходит в направлении высоты и длины проката, причем выявлено, что знаки деформации полости и заготовки в этих направлениях совпадают. Установлено, что при уширении заготовки в процессе прокатки, деформация полости в этом направлении происходит с обратным знаком, то есть в сторону уменьшения.

Ниже приведен пример частного исследования поведения одиночной поры при прокатке.

С позиции гипотезы несжимаемости, следствием чего является условие сохранения объема V , изменение размеров заготовки описано выражением

$$V_1/V_0 = (L_1/L_0) \cdot (B_1/B_0) \cdot (H_1/H_0) = \lambda \cdot \beta \cdot (1/\eta) = 1,$$

где L , B , H – соответственно длина, ширина и высота заготовки; индексы 0 и 1 означают состояние размеров заготовки до и после прокатки соответственно; λ , β , $1/\eta$ – коэффициенты вытяжки, уширения и обжатия соответственно.

В отличие от несжимаемого материала, для которого отношение V_1/V_0 равно единице, для полости как сжимаемой среды, это отношение представлено просто характеристикой изменения объема Ω :

$$\Omega = V_{п1}/V_{п0} = (L_{п1}/L_{п0}) \cdot (B_{п1}/B_{п0}) \cdot (H_{п1}/H_{п0}) = \lambda_{п} \beta_{п} 1/(1/\eta)_{п},$$

здесь $L_{п}$, $B_{п}$, $H_{п}$ – соответственно длина, ширина и высота полости; индексы «п» означают принадлежность параметров к полости. Введение в анализ величин $\lambda_{п}$, $\beta_{п}$, $(1/\eta)_{п}$ позволило привести к безразмерному виду геометрические характеристики полости подобно тому, как это сделано для описания деформации материала заготовки. При отрицательном значении среднего напряжения σ показатель Ω варьируется в диапазоне от 0 до 1. При нулевом значении достигается уменьшение полости до нулевого значения. Значение Ω , равное единице, соответствует деформированному состоянию, в котором объем полости не изменяется. Для случая, когда величина σ положительная, объем полости увеличивается, значение Ω оказывается больше 1.

При рассмотрении многопроходного режима прокатки возможно рассмотрение двух

видов показателя Ω : частный (в одном проходе i) Ω_i и накопленный (по маршруту с n проходами) Ω_Σ . Принцип накопления следует из формулы

$$\Omega_\Sigma = \Omega_1 \cdot \Omega_2 \cdot \dots \cdot \Omega_n = \prod_{i=1}^n \Omega_i$$

Поскольку физическое моделирование прокатки заготовки с полостью, расположенной в объеме металла, представляет сложную техническую задачу, предложена специальная методика, заключающаяся в сборке трехслойной полосы с расположением полости цилиндрического профиля в центральном слое. Деформируемая оснастка для моделирования прокатки полосы с полостью представлена на рис.2.

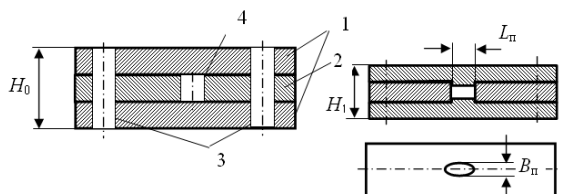


Рис. 2. Деформируемая оснастка для моделирования прокатки полосы с полостью до прокатки (а), сбоку (б) и в плане (в) после прокатки: 1 – крайние слои; 2 – центральный слой с полостью; 3 – деформируемые шпильки

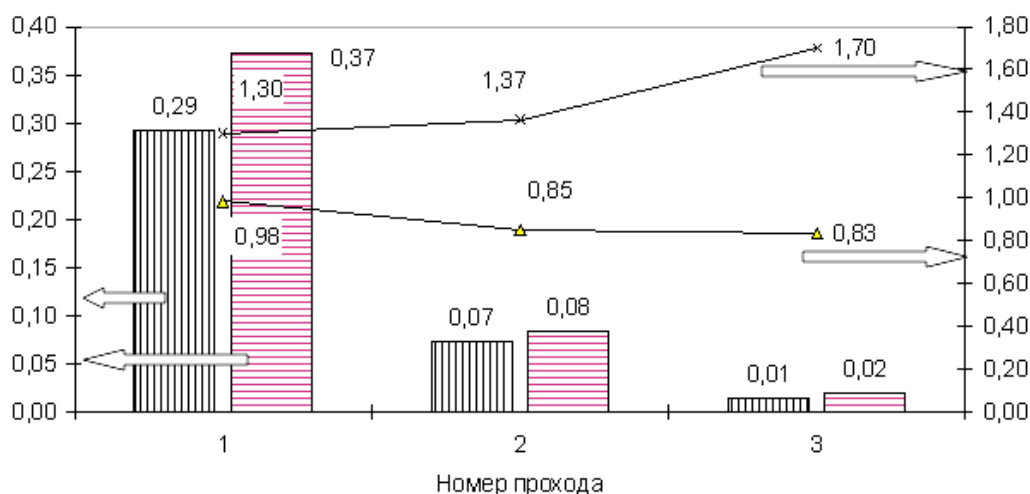


Рис.3. Изменение по проходам прокатки параметров полости:
 η_p – столбцы с вертикальной штриховкой; Ω_Σ – столбцы с горизонтальной штриховкой;
 β_p – нижний график; λ_p – верхний график

Коэффициент вытяжки полости λ_p по проходам нарастал. Параметр Ω_Σ нелинейно и интенсивно уменьшался, чему способствовал процесс сужения полости и ее обжатия по высоте, причем последний фактор превалировал. По мере обжатия заготовки параметр β_p оставался меньшим единицы, что говорит о предпочтительном течении металла в полость, а не в сторону уширения заготовки.

Показатель β_p непрерывно уменьшался по проходам, что говорит об интенсификации процесса закрытия полости в направлении ширины заготовки. Также выявлено, что по мере увеличения по проходам относительной ширины

Полость выполнена сверлением в направлении толщины полосы. Первый проход прокатки осуществляли при относительном обжатии 31 %, второй – 18 % и третий – 19 % при параметрах l/H_{cp} соответственно 1,43; 1,19; 1,37, здесь l и H_{cp} соответственно длина и средняя высота очага деформации.

В первом проходе прокатки характеризующие полость параметры изменились следующим образом: высота полости уменьшилась в 1/0,29=3,5 раза, а длина полости увеличилась в 1,3 раза. Таким образом, высота полости изменилась значительно больше ее длины. Остальные результаты по проходам прокатки представлены на рис.3 гистограммами и графиками распределения параметров изменения формы и объема полости.

заготовки B/l (l – длина очага деформации), происходило изменение конфигурации полости в плане в сторону вытягивания вдоль направления прокатки. По проходам коэффициент высотной деформации полости оставался выше обжатия заготовки примерно в 2...3 раза. В целом, характер формоизменения полости показал, что по отношению к материалу заготовки полость более интенсивно деформировалась в направлении высоты и длины проката, причем знаки деформаций в этих направлениях совпали. В направлении ширины проката деформация полости имела обратный знак по отношению к деформации заготовки.

Результаты исследования других процессов обработки металлов давлением с позиции поведения одиночной поры изложены в публикациях [1-8].

В том числе выполнено компьютерное моделирование волочения сплошной заготовки и заготовки с полостью через волоку с полууглом, характерным для волок, используемых на предприятиях кабельной промышленности. Отмечено, что в этом случае для центральных зон деформируемого прутка и проволоки наблюдается наличие зоны действия растягивающих напряжений, которое может приводить к росту дефектов и являться причиной обрывности.

Расчетами показано, что значительное снижение уровня растягивающих напряжений в осевой зоне при волочении достигается при использовании волок с меньшим углом конусности. Выполнено экспериментальное исследование волочения заготовки с полостями, расположенными на различном расстоянии от оси заготовки и выявлено различие в характере деформирования в зависимости от коэффициента вытяжки.

Выполнено компьютерное моделирование формоизменения полости в процессе прессования (рис.4) и установлено, что приближенные к выходному концу пресс-изделия полости изменяют форму с круглой на веретенообразную, следующие

за ними полости схлапываются с образованием дефекта определенной протяженности. Выявлено, что при прессовании увеличение трения на инструменте способствует сохранению формы полости. Показано, что полости создают неблагоприятное напряженно-деформированное состояние, создавая условия для появления вторичных дефектов в виде трещин и внутренних разрывов.

В целом, решение задачи показало, что ликвидация пор в выходном конце заготовки при прессовании происходит быстрее, чем достигается стационарная стадия прессования. Кроме того, устранение пор, расположенных в центре заготовки, происходит не за счет уменьшения их объема и превращения в точечные дефекты, имеющие минимальные размеры, а за счет вытягивания в направлении прессования. В результате создаются дефекты, имеющие определенную длину.

При использовании больших коэффициентов вытяжек (они при прессовании могут достигать значений 1000 и более) следует ожидать наличия больших напряжений сжатия, что приведет к более раннему закрытию пор, однако дефект от такого схлапывания все равно будет иметь место.

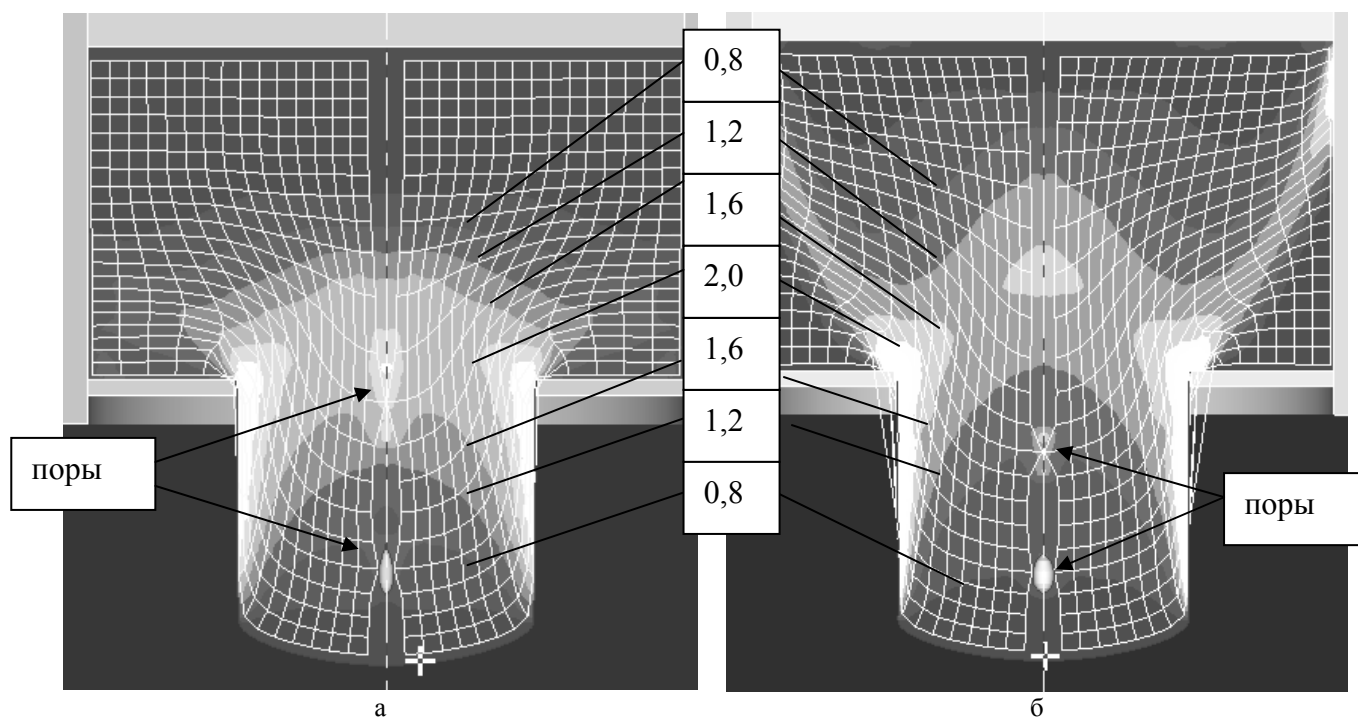


Рис.4. Очаг деформации, координатная сетка, форма пор и линии равного уровня степени деформации сдвига Λ (значения – числа в таблице) при прессовании с коэффициентом вытяжки 4 и показателем трения по Зибелю $\psi = 0$ (а) и $\psi = 1$ (б)

Выполнена экспериментальная проверка решения задачи прессования прутка с полостью и показана сходимость с теоретическим решением.

Библиографический список

1. Логинов Ю.Н., Еремеева К.В. Формоизменение прямоугольной полости в заготовке при плоской деформации // Известия вузов. Черная металлургия. 2009. №1. С. 12-16.
2. Логинов Ю.Н., Еремеева К.В. Поведение при прокатке дефекта типа поры, примыкающей к поверхности полосы // Производство проката. 2008. №10. С. 2-6.
3. Логинов Ю.Н., Еремеева К.В. Моделирование поведения поры при плоской прокатке // Сборник научных трудов. Теория и практика листового проката. Липецк: ЛГТУ. 2008. Ч.2. С. 95-100.
4. Логинов Ю.Н., Еремеева К.В. Формоизменение одиночно расположенной поры в круглой заготовке при волочении // Кузнечно-штамповочное производство. 2009. №4. С. 3-8.
5. Логинов Ю.Н., Еремеева К.В. Поведение пор в металле на начальном этапе прессования // Современные металлические материалы и технологии (СММТ 2009). Труды международной научно-технической конференции. СПб.: Изд-во Политехн. Унив-та. 2009. С. 80-86.
6. Логинов Ю.Н., Еремеева К.В. Формоизменение поры в центральной части прутка на начальной стадии прессования // Известия вузов. Черная металлургия, 2009, №9. С. 46-51.
7. Логинов Ю.Н., Еремеева К.В. Прокатка заготовки с одиночно расположенной в объеме порой. ЗПМ, 2009, №11. С.33-37.
8. Логинов Ю.Н., Еремеева К.В. Влияние типа пластической деформации на видоизменение одиночной поры. Деформация и разрушение материалов, 2011, № 4. С.40-44.